

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-230180

(43)Date of publication of application : 24.08.2001

(51)Int.Cl.

H01L 21/027

G03F 1/08

G03F 7/20

(21)Application number : 2000-036691

(71)Applicant : TOSHIBA CORP

(22)Date of filing : 15.02.2000

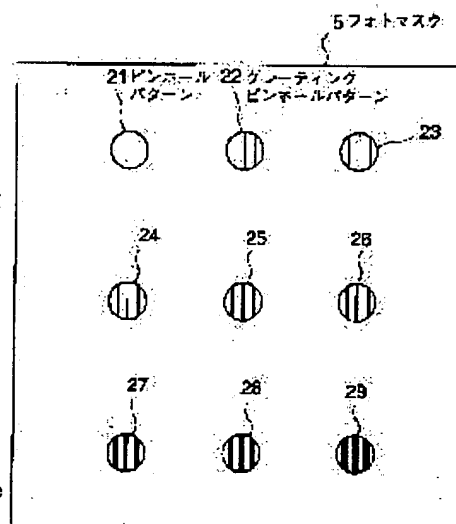
(72)Inventor : SATO KAZUYA
INOUE SOICHI

(54) METHOD FOR INSPECTING ALIGNER AND PHOTOMASK FOR INSPECTING EXPOSURE DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To simply inspect a secondary light source of an aligner in a short time.

SOLUTION: A light radiated from a light source is repeated by a transparent part and a shielding part in a limited period, and introduced by an illumination optical system 2 to a photomask 3 formed with a pattern by an optical member having a pinhole pattern 21 and a grating pinhole patterns 22 to 29 shielded at its periphery, by the shielding region of a diffraction grating pattern in which a plurality of ratios of the transparent parts and the shielding parts are given. Thus, a zero order diffracted light passed through the photomask 3 is radiated to a projection optical system 4, and a pattern image of the photomask 3 is transferred onto wafer 5. Then, light intensity distribution in a secondary light source formed in the system 2 is measured based on the pattern image of a zero order diffracted light transferred onto the wafer 5. Thus, the photomask 3 and the wafer 5 are transferred in a non-conjugate state with respect to the system 4.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 19.12.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3302966

[Date of registration] 26.04.2002

[Number of appeal against examiner's decision]

of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-230180

(P2001-230180A)

(43)公開日 平成13年8月24日(2001.8.24)

(51)Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テーマト*(参考)

H 0 1 L 21/027

C 0 3 F 1/08

D 2 H 0 9 j

G 0 3 F 1/08

Z 5 F 0 4 6

7/20

5 2 1

7/20

5 2 1

H 0 1 L 21/30

5 1 6 C

5 1 5 F

審査請求 未請求 請求項の数12 O L (全 11 頁)

(21)出願番号

特願2000-36691(P2000-36691)

(22)出願日

平成12年2月15日(2000.2.15)

(71)出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72)発明者 佐藤 和也

神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地 株式会社東芝横浜事業所内

(72)発明者 井上 壮一

神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地 株式会社東芝横浜事業所内

(74)代理人 100058479

弁理士 鈴江 武彦 (外6名)

最終頁に続く

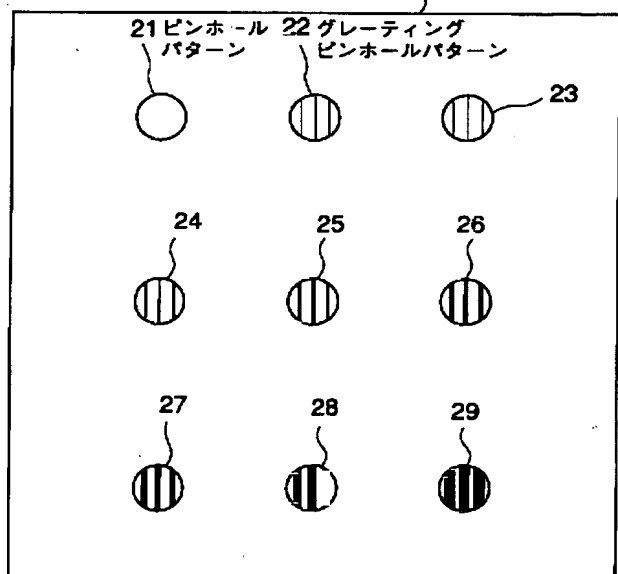
(54)【発明の名称】 露光装置の検査方法及び露光装置検査用フォトマスク

(57)【要約】

【課題】簡便且つ短時間で露光装置の2次光源を検査する。

【解決手段】光源から射出した光を、有限の周期で透光部と遮光部が繰り返され、かつ該透光部と遮光部の比が複数与えられた回折格子パターンであって周囲を遮光領域で遮られたピンホールパターン21及びグレーティングピンホールパターン22～29を含む光学部材によりパターンが形成されたフォトマスク3に照明光学系2により導き、フォトマスク3を通過した0次回折光を投影光学系4に照射させ、該フォトマスク3のパターン像をウェハ5上に転写し、ウェハ5上に転写された0次回折光のパターン像に基づいて、照明光学系2内に形成される2次光源内の光強度分布を測定するものであって、フォトマスク3とウェハ5が投影光学系4に関して非共役な状態で転写する。

5 フォトマスク



【特許請求の範囲】

【請求項1】 照明光学系から射出した光を、有限の周期で透光部と遮光部が繰り返され、かつ該透光部と遮光部の比が複数与えられた回折格子パターンであって周囲を遮光領域で遮られた光透過パターンを含む光学部材によりパターンが形成されたフォトマスクに導き、前記フォトマスクを通過して発生した0次回折光を投影光学系を通してウェハ上に転写し、前記ウェハ上に転写された0次回折光のパターン像に基づいて、前記フォトマスクから前記照明光学系を見た2次光源内の光強度分布を測定するものであって、前記フォトマスクと前記ウェハが前記投影光学系に関して非共役な状態で転写することを特徴とする露光装置の検査方法。

【請求項2】 前記投影光学系の射出側の開口数を NA 、前記露光装置のコヒーレンスファクタを σ 、露光波長を λ 、前記フォトマスクの倍率を M としたとき、前記回折格子パターンの周期は、
$$p < M\lambda / 2NA \cdot \sigma$$
を満たすことを特徴とする請求項1に記載の露光装置の検査方法。

【請求項3】 前記フォトマスクと前記ウェハの前記投影光学系に関する非共役な状態は、パターン露光に用いられる前記フォトマスクの光学部材が配置される表面とは反対側の表面に、前記光学部材の遮光部を配置することにより実現することを特徴とする請求項2に記載の露光装置の検査方法。

【請求項4】 前記フォトマスクと前記ウェハの前記投影光学系に関する非共役な状態は、前記フォトマスク又は前記ウェハの少なくとも一方の位置を共役な位置から光軸方向に移動させることにより実現することを特徴とする請求項3に記載の露光装置の検査方法。

【請求項5】 前記光透過パターンは半径 r の円形をなし、前記フォトマスクの膜厚を d 、露光波長を λ 、露光波長 λ における前記フォトマスクの屈折率を n とすると、
$$0.4(n d \lambda)^{1/2} \leq r \leq (n d \lambda)^{1/2}$$
を満たすことを特徴とする請求項1に記載の露光装置の検査方法。

【請求項6】 前記光透過パターンは複数形成され、各光透過パターンの透光部と遮光部の比が各透過パターン毎に異なるように設けられてなることを特徴とする請求項1に記載の露光装置の検査方法。

【請求項7】 前記光透過パターン内に透光部と遮光部の比が異なる部分が配置されてなることを特徴とする請求項1に記載の露光装置の検査方法。

【請求項8】 前記光強度分布の測定は、前記複数の光透過パターンそれぞれから得られるレジストパターンのレジストの形成領域と非形成領域との境界線を等高強度線とし、各等高強度線を重ね合わせるにより等高強度

度線図を得ることにより測定されることを特徴とする請求項1に記載の露光装置の検査方法。

【請求項9】 有限の周期で透光部と遮光部が繰り返され、かつ該透光部と遮光部の比が複数与えられた回折格子パターンであって周囲を遮光領域でさえぎられた光透過パターンを含む光学部材によりパターンが形成された露光装置検査用フォトマスクであって、検査に用いられる露光装置内の投影光学系の射出側の開口数を NA 、前記露光装置のコヒーレンスファクタを σ 、露光波長を λ 、マスクの倍率を M としたとき、前記回折格子パターンの周期は、
$$p < M\lambda / 2NA \cdot \sigma$$
を満たすことを特徴とする露光装置検査用フォトマスク。

【請求項10】 前記光透過パターンは半径 r の円形をなし、前記フォトマスクの膜厚を d 、露光波長を λ 、露光波長 λ における前記フォトマスクの屈折率を n とすると、
$$0.4(n d \lambda)^{1/2} \leq r \leq (n d \lambda)^{1/2}$$
を満たすことを特徴とする請求項9に記載の露光装置検査用フォトマスク。

【請求項11】 前記回折格子はライン&スペースパターンであることを特徴とする請求項9に記載の露光装置検査用フォトマスク。

【請求項12】 前記回折格子は、遮光領域内に正方格子状の透過領域が設けられた正方格子パターンからなることを特徴とする請求項9に記載の露光装置検査用フォトマスク。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体素子製造に使用する投影露光装置の検査方法及び該露光装置の検査用フォトマスクに係わり、特に露光装置の照明光学系の性能を検査するための露光装置の検査方法及び露光装置検査用フォトマスクに関する。

【0002】

【従来の技術】半導体デバイスの回路パターンの製造には、リソグラフィ技術が一般に使用される。リソグラフィ工程に使用される投影露光装置では、照明光学系から射出された波長 λ の単色光が、回路パターンが描画されたフォトマスクに入射する。そして、フォトマスクを通過した光は投影光学系により集光される。そして、一般にはフォトレジストが塗布された感光基板、具体的には例えばシリコンウェハ上にフォトマスクの回路パターンが結像投影される。照明光学系内に形成される2次光源、すなわちフォトマスク側から照明光学系側を見たときの光源としての2次光源によりフォトマスクが照射されるといえる。ここで、2次光源は有限の大きさを持つものであり、その大きさはコヒーレンスファクタ(σ)で表される。また、露光装置の分解能は投影光学系のウ

エハ側開口数 (NA)、 λ 及び σ により定まる。

【0003】ところで、形成すべき半導体デバイスパターンが微細になってくると露光装置に求められる性能も厳しくなる。露光装置の性能は、その装置を構成する種々の光学部品により定まるものではあるが、例えば、2次光源の大きさや形状が変化すると、パターンのフォーカス裕度あるいは露光量裕度が変化することはよく知られている。また、照明光学系にごみ等が付着して2次光源の内部に明るさのむらができた場合も、上記裕度は光学系が正常な場合とは異なってくる。

【0004】シミュレーションを駆使したリソグラフィ設計が半導体素子製造の上で重要な意味を有する現在においては、このような予想外の不具合が露光装置に存在することは、レジストパターン形状やフォーカス裕度あるいは露光量裕度の計算を不正確にするため好ましくない。露光装置の組立の過程で問題となる箇所を取り除いておくか、あるいは露光装置を使用する前にその不具合量を予め測定しておき、シミュレーションに取り込む必要が生じる。

【0005】そこで、露光装置の2次光源形状を測定する方法として、IBM社(米国)のKirk等により提案された方法がある。この方法の場合、フォトマスク面のうち、投影光学系に関してウェハと共役でない側の面にピンホールを配置し、ピンホールカメラとして用いることによりウェハ上に光源形状を転写する。これにより、稼働中の露光装置であっても装置を分解せずに測定を行うことができるという利点を有する。

【0006】しかしながら、この方法では露光量を変えて同一パターンを複数回露光しウェハ上に形成されたレジストパターンを撮影した写真をした画像をそれぞれ重ね合わせ、2次光源内の光強度分布の等高強度線図を得る必要がある。従って、精度の高い検査を行うには、露光量を少しずつ変えながら多数回露光を行わなければならない。この作業は繁雑であるばかりか検査時間が非常に長くなる。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】上述したように従来の露光装置の検査方法では、2次光源形状を測定するのに稼働中の露光装置を分解せずに測定する方法が提案されている。しかしながら、この方法では、同一パターンを複数回露光する必要があるため、作業が繁雑となるばかりか長時間の検査が必要となる。

【0008】本発明は上記課題を解決するためになされたもので、その目的とするところは、簡便且つ短時間で露光装置の2次光源を検査する露光装置の検査方法を提供することにある。

【0009】また、本発明の別の目的は、簡便且つ短時間で露光装置の2次光源を検査する露光装置用フォトマスクを提供することにある。

【0010】

【課題を解決するための手段】本発明に係る露光装置の検査方法は、照明光学系から射出した光を、有限の周期で透光部と遮光部が繰り返され、かつ該透光部と遮光部の比が複数与えられた回折格子パターンであって周囲を遮光領域で遮られた光透過パターンを含む光学部材によりパターンが形成されたフォトマスクに照明光学系により導き、前記フォトマスクを通過した0次回折光を投影光学系に照射させてウェハ上に転写し、前記ウェハ上に転写された0次回折光のパターン像に基づいて、前記フォトマスクから前記照明光学系を見た2次光源内の光強度分布を測定するものであって、前記フォトマスクと前記ウェハが前記投影光学系に関して非共役な状態で転写することの特徴とする。

【0011】ここで、光透過パターンには、その内部が透光部のみで回折パターンの形成されていないホールパターンも含むものとする。

【0012】本発明の望ましい形態を以下に示す。

【0013】(1) 投影光学系の射出側の開口数をNA、露光装置のコヒーレンスファクタを σ 、露光波長を λ 、マスクの倍率をMとしたとき、回折格子パターンの周期は、 $p < M\lambda / 2NA \cdot \sigma$ を満たす。

【0014】(2) フォトマスクとウェハの投影光学系に関する非共役な状態は、パターン露光に用いられるフォトマスクの光学部材が配置される表面とは反対側の表面に、光学部材の遮光部を配置することにより実現する。

【0015】(3) フォトマスクとウェハの投影光学系に関する非共役な状態は、フォトマスク又はウェハの少なくとも一方の位置を共役な位置から光軸方向に移動させることにより実現する。

【0016】(4) 光透過パターンは半径rの円形をなし、フォトマスクの膜厚をd、露光波長を λ 、露光波長 λ におけるフォトマスクの屈折率をnとすると、 $0.4(nd\lambda)^{1/2} \leq r \leq (nd\lambda)^{1/2}$ を満たす。

【0017】(5) 光透過パターンは複数形成され、各光透過パターンの透光部と遮光部の比が異なるようにそれぞれ設けられてなる。

【0018】(6) 光透過パターン内に透光部と遮光部の比が異なる部分が配置されてなる。

【0019】(7) 光強度分布の測定は、複数の光透過パターンそれぞれから得られるレジストパターンのレジストの形成領域と非形成領域との境界線を等高強度線とし、各等高強度線を重ね合わせるにより等高強度線図を得ることにより測定される。

【0020】(8) フォトマスクには、透光部のみからなり、周囲を遮光領域で遮られた光透過パターンが形成されてなる。

【0021】また、本発明に係る露光装置検査用フォトマスクは、有限の周期で透光部と遮光部が繰り返され、かつ該透光部と遮光部の比が複数与えられた回折格子パ

ターンであって周囲を遮光領域でさえぎられた光透過パターンを含む光学部材によりパターンが形成された露光装置検査用フォトマスクであって、検査に用いられる露光装置内の投影光学系の射出側の開口数をNA、前記露光装置のコヒーレンスファクタを σ 、露光波長を λ 、マスクの倍率をMとしたとき、前記回折格子パターンの周期は、 $p < M\lambda / 2NA \cdot \sigma$ を満たすことを特徴とする。

【0022】本発明の望ましい形態を以下に示す。

【0023】(1) 前記光透過パターンは半径 r の円形をなし、前記フォトマスクの膜厚を d 、露光波長を λ 、露光波長 λ における前記フォトマスクの屈折率を n とすると、 $0.4(nd\lambda)^{1/2} \leq r \leq (nd\lambda)^{1/2}$ を満たす。

【0024】(2) 前記回折格子はライン&スペースパターンである。

【0025】(3) 前記回折格子は、遮光領域内に正方格子状の透過領域が設けられた正方格子パターンからなる。

【0026】(4) 回折格子パターンはライン&スペースパターンであり、あるいは遮光領域内に正方格子状の透過領域が設けられた正方格子パターンからなる。

【0027】(作用) 本発明では、露光装置の2次光源の検査において、通常のパターン露光と同様に、光源から射出した光をフォトマスクに導き、該フォトマスクを通過した回折光を投影光学系に照射させ、回折光の強度分布をウェハ上に転写する。

【0028】本発明のパターン転写では、フォトマスクに有限の周期で透光部と遮光部が繰り返された回折パターンの周囲を遮光領域で遮った光透過パターンが形成されているため、2次光源からの光をフォトマスクに通すことにより、回折光が得られる。

【0029】また、フォトマスクとウェハが投影光学系に関して非共役な状態である。これにより、回折光を0次からそれ以上の高次回折光まで分離した状態での光強度分布をレジストパターンとして得ることができ、かつ0次回折光のみを得ることにより、2次光源の形状を特定できる。

【0030】さらに、回折格子パターンの透光部と遮光部の比が複数与えられたフォトマスクを用いることにより、2次光源の分布について露光量を変えて複数回露光したのと同様の情報を得ることができる。すなわち、透光部と遮光部の比が異なる回折格子を通過した回折光は、それぞれの0次回折光が光強度を有するからである。

【0031】このようにして得られたウェハ上のパターンを観察することにより、2次光源内の光強度分布を測定することができる。

【0032】具体的には、透光部と遮光部の比を変えて転写されたパターンをそれぞれ重ね合わせ、光強度分布

の等高強度線図を得ることにより、2次光源の光強度分布を検査することができる。

【0033】さらに本発明では、投影光学系の射出側の開口数をNA、露光装置のコヒーレンスファクタを σ 、露光波長を λ 、マスクの倍率をMとしたとき、回折格子パターンの周期を $p < M\lambda / 2NA \cdot \sigma$ とする。これにより、0次回折光と1次回折光を分離してウェハ上に転写することができるため、1次回折光に干渉されずに光強度分布を検査することができる。

【0034】さらに望ましくは、回折パターンの周期を $p < M\lambda / \{(1 + \sigma) \times NA\}$ とする。これにより、1次以上の高次回折光は瞳の外縁よりも外側に照射されるため、投影光学系内の絞りにより遮られる。従って、0次回折光のみにより形成されるパターンにより光強度分布が観察できるため、より高精度の検査が可能となる。

【0035】また、フォトマスクをウェハの投影光学系に関する非共役な状態を、パターン露光に用いられる前記フォトマスクの光学部材が配置される表面とは反対側の表面に、前記光学部材の遮光部を配置することにより実現する。すなわち、フォトマスクをパターン露光の場合とは表裏逆にして用いることにより、パターン露光に用いられる露光装置の構成をそのままにして、非常に簡単に非共役状態を発生させることができる。もちろん、フォトマスク又はウェハの少なくとも一方の位置を共役な位置から光軸方向に移動させてもよい。

【0036】また、光透過パターンを半径 r の円形とし、前記フォトマスクの膜厚を d 、露光波長を λ 、露光波長 λ における前記フォトマスクの屈折率を n とすると、

$$0.4(nd\lambda)^{1/2} \leq r \leq (nd\lambda)^{1/2}$$

を満たすような条件に設定する。これにより、光透過パターンをピンホールと見た場合のピンホールカメラとしての分解能を高めることができる。

【0037】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照しながら本発明の実施形態を説明する。

【0038】(第1実施形態) 図1～図7は本発明の第1実施形態に係る露光装置の検査方法を説明するための図である。本実施形態では、KrFエキシマレーザ縮小投影露光装置(λ : 248nm、NA: 0.6、 σ : 0.3、マスクの倍率M: 4)の検査を行う場合を例にとって説明する。

【0039】図1は本実施形態の検査対象とする縮小投影露光装置の全体構成を示す図である。図1に示すように、光源1と、照明光学系2と、フォトマスク3と、投影光学系4と、ウェハ5とが、これらの順に露光光の光路に沿って配列されて露光装置を構成している。

【0040】このように構成された縮小投影露光装置において、フォトマスク3の位置から照明光学系2を見た

光源は、2次光源又は有効光源と呼ばれる。この2次光源の大きさは、投影光学系瞳の半径との比、すなわちコヒーレンスファクタ σ で表される。 σ の大きさにより解像特性等が大きく変化するため、理想的にはフォトマスク3上のすべての面において同一の σ で照明するような構成の照明光学系として、一括露光領域内において均一な解像特性を実現する。

【0041】図2は上記露光装置に組み込まれるフォトマスク3の全体構成を示す図である。図2に示すように、フォトマスク3は光透過パターンとしてのピンホールパターン21及びグレーティングピンホールパターン22～29を有する。これら光透過パターン21～29はそれぞれ直径80 μ mであり、互いに1200 μ m離間して配置されている。また、各グレーティングピンホールパターン22～29内にはそれぞれ回折パターンが設けられている。グレーティングピンホールパターンとは、ピンホール内に回折格子が形成されたパターンのことを指す。

【0042】光透過パターン21～29の詳細な構成を図3に示す。図3(a)は各光透過パターン21～29を拡大して示したもので、各光透過パターン22～29の内部にはそれぞれライン&スペースパターンからなる回折格子が設けられている。図3(b)は一例としてグレーティングピンホールパターン29の回折格子の一部をさらに拡大して示したものである。

【0043】図3(b)に示すように、グレーティングピンホールパターン29はライン状の遮光部291とライン状の透光部292からなり、これら291及び292によりライン&スペースパターンを構成している。ここで、透光部292のライン幅を a 、回折格子の周期を p で表す。また、回折格子の周期 p に対する透光部のライン幅 a の比(デューティ比)を ϵ とする。すなわち、 $\epsilon = a/p$ とする。グレーティングピンホールパターン29においては、 $\epsilon = 0.2$ である。他の光透過パターン21～28はグレーティングピンホールパターン29と同じ回折格子の周期 p を有し、 $p = 0.8\mu$ mである。一方、他の光透過パターン21～28はそれぞれ異なるデューティ比を有しており、グレーティングパターン22から28まで順に ϵ は0.9から0.3まで0.1刻みに設定されている。ピンホールパターン21は $\epsilon = 1$ であり、周期 p に対して透光部のライン幅 a の比は1である。すなわち、ピンホールパターン21内はすべて透光部からなり、遮光部は存在せず、回折格子は配置されていない。

【0044】このようなフォトマスク3を、光透過パターン21～29が形成された面が2次光源側に配置されるように露光装置に設置する。実パターンの露光の場合には投影光学系4側にパターン形成面が配置されるが、この露光装置の検査の場合は実パターン露光とは表裏逆に設置することとなる。露光装置は実パターン露光の場

合のフォトマスク3の配置により共役な状態が作り出される。フォトマスク3は所定の厚さを有している。従って、実パターン露光の場合とは表裏逆に配置することにより、フォトマスク3の膜厚分だけフォトマスク3とウェハ5が投影光学系4に関して非共役な状態とすることができる。

【0045】以上のような構成の露光装置を用いて露光を行う。露光量は3000mJ/cm²とし、1回だけ露光を行う。得られたレジストパターンの平面図を図4に示す。図4に示すように、ウェハ5上の1チップ領域に対応するレジストパターン形成領域40には、光透過パターン21～29に対応して、転写パターン41～49が形成される。すなわち、ピンホールパターン21を介して投影されたレジストパターンが転写パターン41、グレーティングピンホールパターン22を介して投影されたレジストパターンが転写パターン42というように対応している。転写パターン41が最も光照射量が多く、転写パターン49が最も光照射量が少なくなっている。これは、転写パターン49には2次光源の中で最も明るい部分のみが転写されており、光照射量が多くなるにつれて2次光源の中の暗い部分が転写パターン内に現れてくることを示している。このようにして、各光透過パターンごとに、それぞれの回折格子のデューティ比に対応したレジストパターンが得られる。

【0046】次に、このように得られた各転写パターン41～49をそれぞれ画像処理し、各画像を重ね合わせる。具体的には、各転写パターン41～49を、レジストが残存した領域とレジストが除去された領域で境界線を引く。そして、各パターンごとに得られた境界線をそれぞれ重ね合わせる。これにより、2次光源の形状の等高強度線図を得ることができる。

【0047】このようにデューティ比の異なるピンホールパターン及びグレーティングピンホールパターンを用いて2次光源の光強度分布の等高強度線図が得られる原理を図5～図7を用いて以下説明する。

【0048】孤立したピンホールパターンの中に回折パターンがなければ、通常のピンホールカメラと同じ原理により、ウェハ5上に転写される像は光源の像のみである。上記のようにピンホールパターン内に周期的な形状のライン&スペースパターンが配置されると、2次光源からの露光光51は、光の回折現象により0次回折光52と1次回折光53を生じる。なお、2次以上の高次の回折光は省略する。0次回折光52は回折パターンを通過しても直進する回折光成分であり、一般的には回折光の中で最も強度が大きい。1次回折光53は光軸から遠ざかる方向に進む。瞳4aの内側に到達した光はウェハ5に達するが、瞳4aの外側に到達した光は遮蔽され、ウェハ5に達しない。すなわち、瞳を通過した光がウェハ5上にパターンを形成することとなる。本実施形態では、0次回折光52により2次光源の像を観察するた

め、0次回折光52のみが瞳4aの内側を通過し、1次回折光53は瞳4aの外側に照射されるような条件に設定する。その条件は後述する。

【0049】また、各回折光はそれぞれが2次光源と相似な像であるため、0次回折光52から光源の形状が分かる。なお、通常のパターン露光のように、フォトマスク3とウェハ5が共役な状態で露光を行う場合には、ウェハ5上でフォトマスク3のパターン像が結像され、光源の像を観察することができない。これに対して本実施形態では、フォトマスク3のパターン形成面が光源側に配置されるように設定する。これにより、ウェハ5上でフォトマスク3に形成されたパターン像が結像されず、デフォーカス状態でウェハ5上に光が到達する。従って、2次光源の像を示す0次回折光52を十分な大きさで観察することが可能となる。

【0050】また、周期 $p = 0.8 \mu\text{m}$ とした理由を図6を用いて以下説明する。

【0051】投影光学系4の瞳4aの大きさ61を規準とした量で表すと、各回折光の照射領域62, 63は光源形状と同じになり、回折光照射領域62, 63の半径は σ で表される。なお、61aは瞳の大きさを表す仮想的な線であり、半径1の円である。0次回折光は直進する成分なので周期 p が変化してもその位置は変わらないのに対して、1次回折光の位置は周期 p により変化し、その照射領域63は図6(a)の矢印に示す方向に変動する。周期 p の周期的回折パターンによる回折を考えると、0次回折光と1次回折光の間の距離は $\lambda / (p \times N A)$ で表される。ウェハ5上に0次回折光と1次回折光を分離して投影するためには、0次回折光照射領域62と1次回折光照射領域63はオーバーラップしない必要がある。従って、少なくとも図6(b)に示すように、0次回折光照射領域62と1次回折光照射領域63が接しているか、あるいはそれよりも離れている必要がある。これを周期 p について式で表すと、 $p < M \cdot \lambda / (2 N A \cdot \sigma)$ となる。なお、2次以上の高次回折光は、1次回折光よりもさらに回折角が大きいため、1次回折光照射領域よりも瞳の中心からさらに外れる。従って、1次回折光のみを考慮すれば2次以上の高次回折光は0次回折光と分離される。

【0052】また、さらに望ましくは、観察するのは0次回折光のみであるため、1次回折光は瞳4aを通過しない方がよい。この場合、0次回折光照射領域62と1次回折光照射領域63の境界条件での位置関係は図6

(c)に示すようになる。すなわち、1次回折光照射領域63の外縁が瞳の外縁に接しているか、あるいは離れている必要がある。これを周期 p について式で表すと、 $p < M \cdot \lambda / \{ (1 + \sigma) \times N A \}$

となる。ここで、本実施形態に用いた露光装置では、 $\lambda = 248 \text{ nm}$ 、 $N A = 0.6$ 、 $\sigma = 0.3$ 、 $M = 4$ であるため、周期 $p = 0.8 \mu\text{m}$ は上記式を満たすこととな

る。

【0053】図7はピンホール22~29に配置される回折格子のデューティー比と露光光の相対強度の関係を示す図である。横軸はデューティー比、縦軸は露光光の相対強度である。実線で示したのが本実施形態のライン&スペースパターンにより得られる関係曲線である。図7に示すように、デューティー比を変化させることにより露光光の相対強度が変化するの分かる。なお、露光光の相対強度は、回折格子が形成されないピンホール21の露光光強度を1とした場合の強度を表す。

【0054】このように、回折格子のデューティー比を変えることにより、露光光強度が変化する。具体的には、0次回折光の相対強度は ε^2 で表され、0次回折光の強度はデューティー比 ε の増加と共に単調増加する。従って、複数のデューティー比で露光したパターンを比較すると、2次光源内の光強度の大小に応じてそれぞれパターンが形成される領域が異なってくる。具体的には、デューティー比が高い透光部の多いパターン(21や22等)によれば、相対強度は高く、パターンが形成される領域も大きくなる。一方、デューティー比が低い透光部の少ないパターン(29や28等)によれば、相対強度は低く、パターンが形成される領域は小さくなる。従って、複数のデューティー比で露光したパターンを得ることにより、露光量を複数変えて複数回露光したのと同じ情報を得ることができる。

【0055】具体的には、各パターン21~29により得られるレジストパターンを、パターンが形成された領域とパターンが形成されない領域とで境界線を引き、これを等高強度線としてそれぞれ重ね合わせることで、等高強度線図が得られる。なお、1のレジストパターンから、パターンが形成された領域とパターンが形成されない領域の2分割により等高強度線図を得るのみならず、3分割や4分割等、複数の分割して複数の等高強度線を得てもよい。

【0056】また、図7のデューティー比と相対強度の関係曲線から、図4の各転写パターンから得られた各等高強度線が意味する光強度を、回折格子のないピンホールパターン21を用いて得られた転写パターンの等高強度線の位置における光を基準(=1)とした相対地として得ることができる。すなわち、転写パターン41の露光の境界の位置(に対応する2次光源上)の光強度を1とすると、転写パターン41の露光の境界位置に対応する2次光源上の光強度は ε^2 で表され、回折格子のデューティー比 $\varepsilon = 0.9$ であることから、 $\varepsilon^2 = 0.81$ である。同様に転写パターン43~49においても、得られる等高強度線の位置における光強度がそれぞれ0.64, 0.49, ..., 0.04であることが分かる。こうして得られた実際の2次光源における光強度の等高強度線図、すなわち光強度分布を、設計上の2次光源、又は理想的な2次光源の光強度分布と比較することによ

り、2次光源に異常があるか否かが判断できる。

【0057】また、光透過パターン21～29の直径を $80\mu\text{m}$ 、各光透過パターン21～29同士の距離を $1200\mu\text{m}$ とした理由を説明する。

【0058】本実施形態におけるピンホールパターン21及びグレーティングピンホールパターン22～29は、原理的にはピンホールカメラと同じである。ピンホールカメラの分解能はピンホールの半径を r 、ピンホールから像を写す面までの光路長を l 、光の波長を λ としたとき、

$$r = (l\lambda)^{1/2}$$

を満たす場合に最適になることは広く知られている。本実施形態の場合、ウェハ5上に転写されるパターン像は、投影光学系に関して共役な位置、すなわちマスクの表側において高い分解能であればよい。従って、上記の光路長 l として、フォトマスク3の厚さ d とフォトマスク3本体を構成するガラスの屈折率 n の積を取ることにより、2次光源の高分解能の像が得られる。但し、本実施形態では必ずしも分解能が最高である必要はなく、次式を満たしていれば充分である。

【0059】 $0.4(n d \lambda)^{1/2} \leq r \leq (n d \lambda)^{1/2}$
本実施形態の場合、 $n=1.5$ 、 $d=6.35\text{mm}$ 、 $\lambda=248\text{nm}$ であるため、光透過パターン21～29の直径 $=80\mu\text{m}$ ($r=40\mu\text{m}$) は上式を満たしていることが分かる。

【0060】このように本実施形態によれば、複数のデューティー比を有する回折格子を持つピンホールパターンを複数フォトマスクに配置し、投影光学系に関して非共役な状態で2次光源の光強度分布を測定する。これにより、1回の露光で異なる複数回の露光で得られるのと同じ2次光源の光強度分布の情報を得ることができ、2次光源の測定時間を大幅に減少させることができる。

【0061】なお、本実施形態では説明の便宜上9種類のデューティー比を有するピンホールパターンを用いたが、その数には限定されないことはもちろんである。従って、より精度の高い光強度分布を得るためにより多くのピンホールパターンをフォトマスク3上に配置してもよい。また、非共役な状態は実パターン露光の場合とは表裏逆に配置することにより実現したが、フォトマスク3又はウェハ5の少なくとも一方の位置を共役な位置から光軸方向に移動させることにより実現させてもよい。

【0062】(第2実施形態) 図8及び図9は本発明の第2実施形態に係る露光装置の検査方法を説明するための図である。本実施形態では、第1実施形態と同様に、KrFエキシマレーザ縮小投影露光装置($\lambda: 248\text{nm}$ 、 $\text{NA}: 0.6$ 、 $\sigma: 0.3$ 、マスクの倍率 $M: 4$)の検査を行う場合を例にとって説明する。従って、露光装置の構成についての詳細な説明は省略する。本実施形態の特徴点は、検査に用いられるフォトマスクに描画されたピンホール中の回折格子の形状にある。第1実施形

態ではピンホールパターン内にライン&スペースパターンが配置されたが、本実施形態では正方格子パターンが配置される。

【0063】図8は本実施形態で使用されるフォトマスク80の全体構成を示す図である。なお、第1実施形態で用いられるフォトマスク3の代わりにフォトマスク80を配置することにより図1に示す露光装置に本実施形態を適用することができる。図8に示すように、フォトマスク80の露光領域80a内には、ピンホールパターン81及び複数のグレーティングピンホールパターン82～93がそれぞれ等間隔に配置されている。各光透過パターン81～93の半径は第1実施形態と同じく、直径 $80\mu\text{m}$ であり、互いに $1200\mu\text{m}$ 離間して配置されている。

【0064】図9は本実施形態で使用されるフォトマスク80に配置されるグレーティングピンホールパターン82～93の一例としてグレーティングピンホールパターン93を例にとって拡大して示した図であり、図9(a)はグレーティングピンホールパターン93の全体構成を、図9(b)はその一部をさらに拡大して示した図である。図9(a)及び(b)に示すように、このグレーティングピンホールパターン93は遮光部931と方形の透光部932からなる。

【0065】遮光部931はマトリクス状に配置された透光部932がそれぞれ離間して配置されるようにライン状に図の上下方向及び左右方向に延び、格子形状をなしている。これにより、X方向及びY方向の2方向に対して回折格子としての機能を有する。透光部932の1辺の長さを a 、周期を p で表し、デューティー比を ϵ とすると、第1実施形態と同様に $\epsilon = a/p$ で表される。グレーティングピンホールパターン93の場合、周期 $p = 0.8\mu\text{m}$ 、 $\epsilon = 0.2$ に設定される。

【0066】他のグレーティングピンホールパターン82～92は、グレーティングピンホールパターン93と同様に共通の周期 $p = 0.8\mu\text{m}$ である。また、各パターン82～92それぞれデューティー比 ϵ は順に $\epsilon = 0.9$ から順に単調に減少する。また、ピンホールパターン81は回折格子が配置されていない透光部のみからなるパターンであり、 $\epsilon = 1$ であると言える。従って、13個の光透過パターン81～93により、 $\epsilon = 1$ から $\epsilon = 0.2$ まで ϵ が単調に減少するように各パターン81～93の ϵ が定められる。従って、パターン81から順に ϵ が $1/1.3$ 刻みで設定される。

【0067】以上のような構成のフォトマスク80を用いて第1実施形態と同様の手法により露光を行う。露光量は $3000\text{mJ}/\text{cm}^2$ 、露光は1回だけ行う。このような露光により、第1実施形態と同様にデューティー比の異なるパターンにより得られる複数のレジストパターンが得られる。これら複数のレジストパターンを第1実施形態と同様の手法により重ね合わせることに、

2次光源の光強度の分布の等高強度線図が得られる。なお、本実施形態の場合は、0次回折光の相対強度は e^4 で表され、図7ではデューティー比と露光光の相対強度が点線で示される点が第1実施形態と異なる。

【0068】本発明は上記実施形態に限定されるものではない。KrFエキシマレーザを光源として用いたが、例えばi線あるいはArFエキシマレーザ、F₂エキシマレーザ等を光源とした場合でも本発明と同様の効果を奏することはもちろんである。また、マスクの倍率Mや、NAも本実施形態に示す値に限定されない。また、露光装置の検査用マスクとしてフォトマスク3を説明したが、実際のパターン露光に用いられる実パターンを検査用の光透過パターン21~29とは表裏逆の面に配置してもよい。このようにすることにより、実際のパターン露光を行いその都度検査用パターンを用いてリアルタイムで簡便に2次光源の光強度を観察することができる。この場合、光透過パターン21~29と実パターンは干渉し合わない程度に離間して配置するのが望ましい。

【0069】さらに、1次回折光が瞳の外側に照射され、ウェハに到達しない場合について説明したが、必ずしもそのようにする必要はなく、0次回折光と1次回折光が分離してウェハ上に到達できればよい。この場合、レジストパターン上に1次以上の回折光を投影させた後、写真又はコンピュータの画像として得る際に1次以上の回折光を消せばよい。

【0070】さらに、上記実施形態では光強度分布を得る手法として各デューティー比ごとの転写パターンを画像処理し、各画像を重ね合わせることで等高強度線図を得たが、これに限定されるものではない。例えば、検査露光により得られたレジストパターンの膜厚から光強度分布を求め、このように得られる各パターンの強度分布を重ね合わせることで光強度分布の等高強度線図を得ることもできる。なお、この手法による場合には露光量とレジストパターンの膜厚が比例関係、あるいはそれに近い関係のレジストを用いるのが好ましい。

【0071】さらに、ピンホールパターンとして円形のものをを用いたが、面積が同等な形状であればこれに限定されるものではない。フォトマスクの変形例を図10に示す。図10(a)に示すように、フォトマスク101a内に三角形のホールパターン102が形成されたものや、(b)に示すように、フォトマスク101b内に四角形のホールパターン103が形成されたもの、さらには図10(c)に示すようにフォトマスク101c内に楕円形のホールパターン104が形成されたもの等、所定の距離だけ周囲が遮光部で遮られた光透過パターンであれば何でもよい。また、ピンホールパターン内部に配置される回折格子としてライン&スペースパターン及び正方格子パターンの場合を示したが、これらに限定されるものではない。例えば市松格子状パターン、正六角形

の遮光部が蜂の巣状に配置された六方格子状パターンや、これらパターンの遮光部と透光部を反転させたピラーパターン等、回折光を生じさせる回折パターンであれば何でもよい。

【0072】

【発明の効果】以上詳述したように本発明によれば、検査対象とする露光装置を用い、複数のデューティー比の回折格子が配置された光透過パターンを通過して得られる0次回折光をウェハ上に転写することにより、複数の光強度分布を有するパターンが得られ、これらを合成することにより、露光装置の2次光源を簡便且つ短時間に検査することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施形態に係る露光装置の検査の対象とする露光装置の全体構成を示す図。

【図2】同実施形態に係る露光装置の検査に用いられるフォトマスクの全体構成を示す平面図。

【図3】同実施形態に係るフォトマスク内の光透過パターンの詳細な構成を示す図。

【図4】同実施形態に係る露光装置の検査における露光で得られたレジストパターンを示す平面図。

【図5】同実施形態に係る露光装置の検査方法の原理を説明するための図。

【図6】同実施形態に係る露光装置の検査方法の原理を説明するための図。

【図7】同実施形態に係るデューティー比と露光光の相対強度の関係を示す図。

【図8】本発明の第2実施形態に係る露光装置の検査に用いられるフォトマスクの全体構成を示す平面図。

【図9】同実施形態に係るフォトマスク内のグレーティングピンホールパターンの詳細な構成を示す図。

【図10】本発明のフォトマスクの光透過パターンの変形例を示す図。

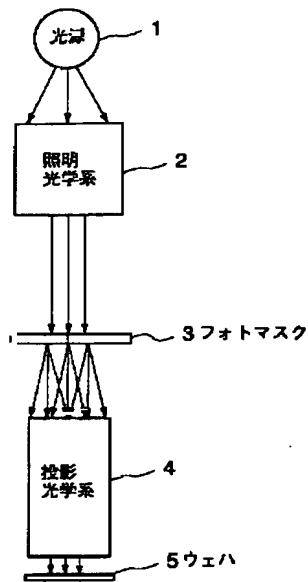
【符号の説明】

- 1…光源
- 2…照明光学系
- 3, 80…フォトマスク
- 4…投影光学系
- 4a…瞳
- 5…ウェハ
- 21, 81…ピンホールパターン
- 22~29, 82~93…グレーティングピンホールパターン
- 291, 931…遮光部
- 292, 932…透光部
- 41~49…転写パターン
- 51…露光光
- 52…0次回折光
- 53…1次回折光
- 61…瞳の大きさ

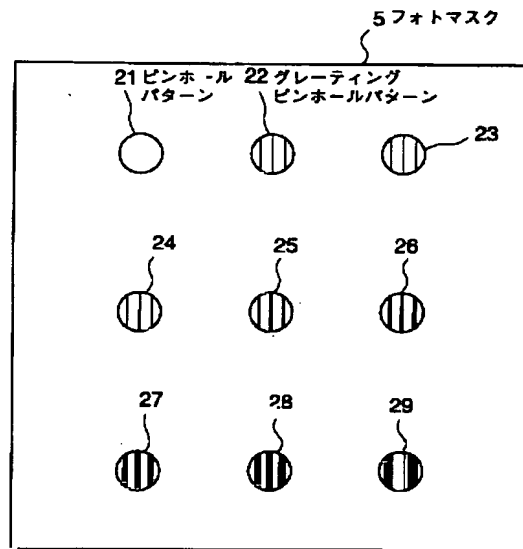
6 2...0次回折光照射領域

6 3...1次回折光照射領域

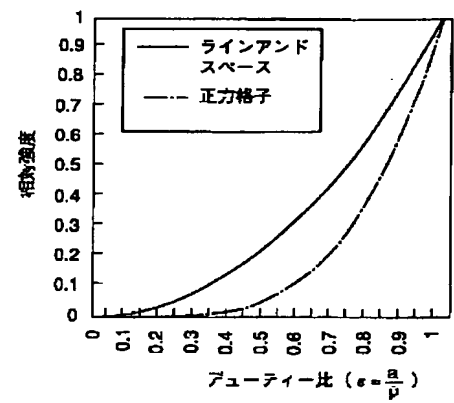
【図1】



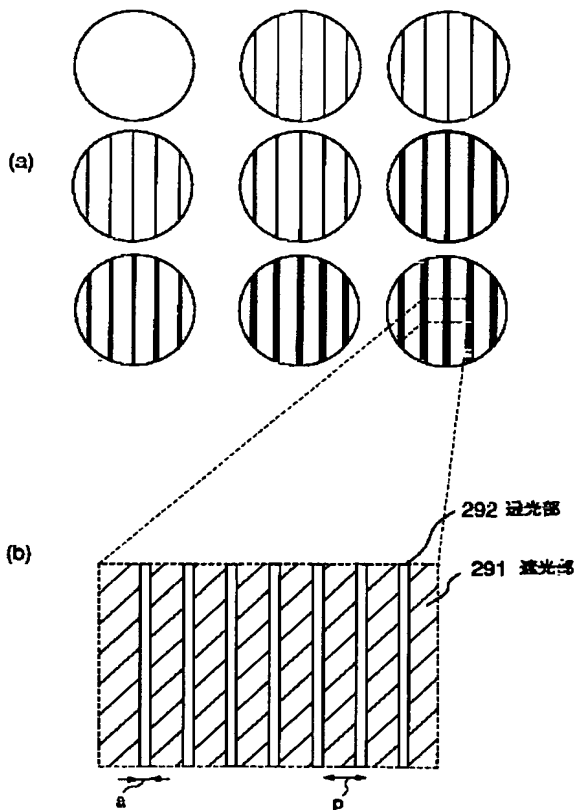
【図2】



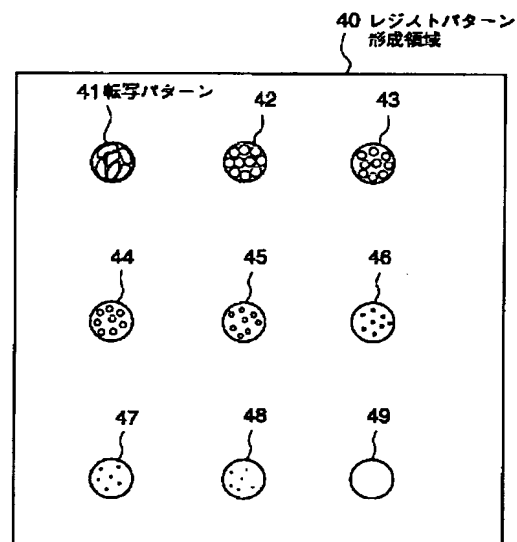
【図7】



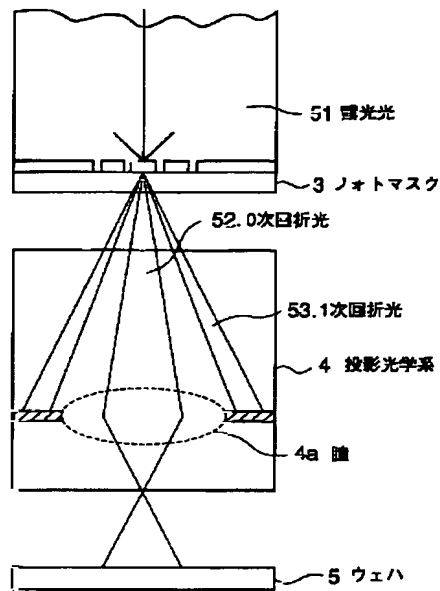
【図3】



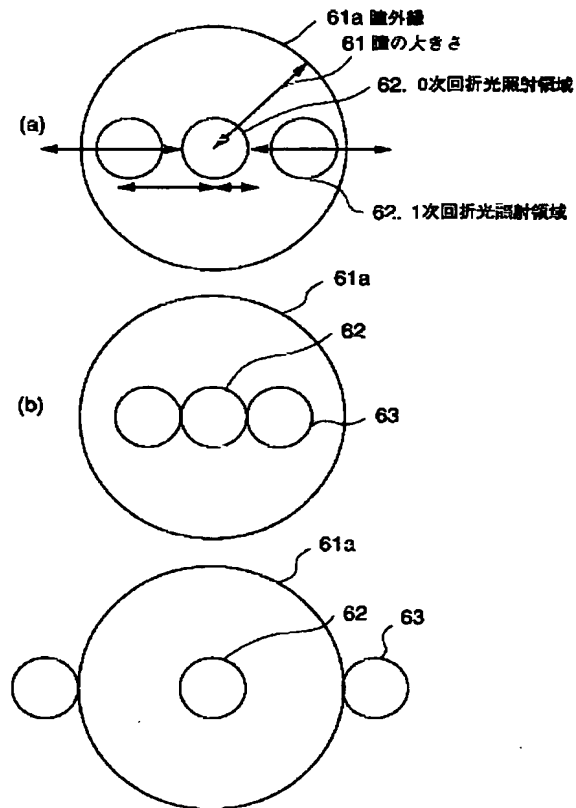
【図4】



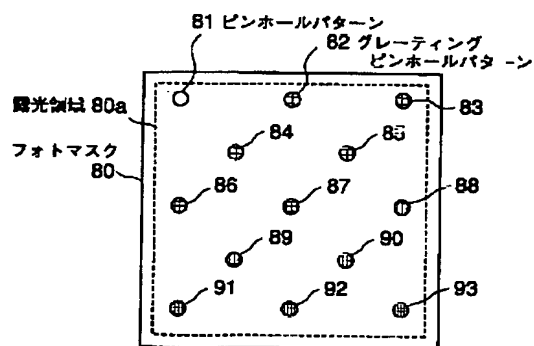
【図5】



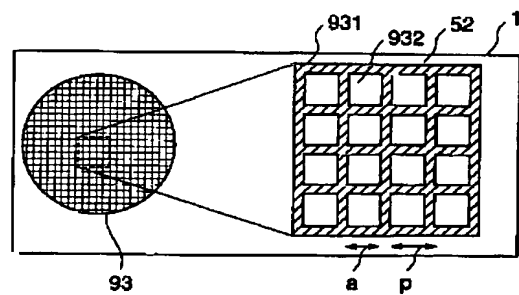
【図6】



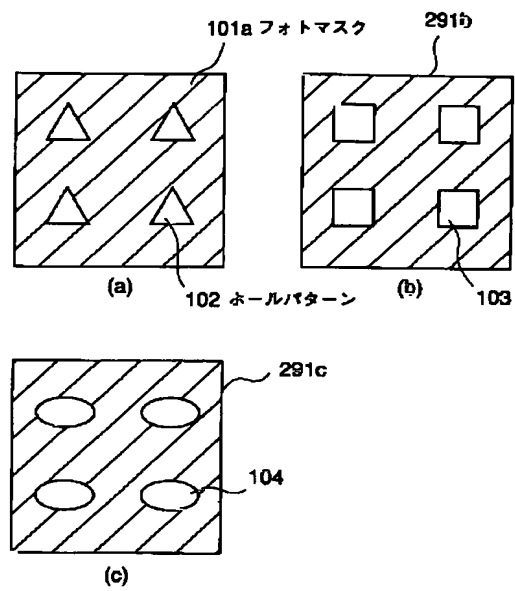
【図8】



【図9】



【図10】



フロントページの続き

Fターム(参考) 2H095 BA02 BA07 BB02 BB36 BD09
BD13 BD23
5F046 AA17 AA25 BA03 CB17 DB01
DB11